# DELLA

# MATERIA E DELLE FORZE

CONSIDERAZIONI

DEL PROF. GIUSTO BELLAVITIS

MEMBRO EFFETTIVO PENSIONARIO DELL' I. R. ISTITUTO VENETO
DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

*(Estr. dal Volume VIII delle Memorie dell' Istituto stesso)*



VENEZIA
PRESSO LA SEGRETERIA DELL' I. R. ISTITUTO
NEL PALAZZO DUCALE
1859
NEL PRIV. STAB. NAZ. DI G. ANTONELLI

# DELLA MATERIA E DELLE FORZE

Dal tempo, in cui per la prima volta ebbi l'onore di presentarmi a questo dotto Consesso leggendovi alcune considerazioni sulla dottrina del calorico raggiante (27 dicembre 1840; gli Atti dell'Istitnto stampati nel 1851 contengono un estratto di tal memoria, che fu poi pubblicata negli *Annali di matematica*, agosto 1850, Roma, Vol. I), nella quale un illustre fisico Italiano faceva allora sì grandi scoperte, da quel tempo, dicevo, la denominazione del calorico sofferse vigorosi attacchi, sicchè per quanto mi sembri ragionevole sopporre che da un corpo speciale dipenda quel gruppo ben distinto di fenomeni, che suol disegnarsi col nome di calore, debbo confessare che un'altra ipotesi sembra destinata ad occupare il posto della prima. Questo tempo mi pare molto opportuno per prendere in esame i fondamenti della scienza, e sceverare ciò che può ritenersi come l'esposizione di un fatto da ciò ch'è puramente ipotetico. Io svilupperò la mia maniera di vedere, che in parte ho già esposta in una memoria sulle proprietà generali dei corpi (letta all'Accademia di Padova, 8 dicembre 1845 e pubblicata negli *Annali di matematica*, ottobre, novemb. 1850, Roma) e nell'altra sulle unità fisiche e sull'importanza ed uso delle teorie (letta all'I. R. Istituto nelle sessioui del 1851 e 1852, fu poi inserita negli Atti del 1856, T. I, pag. 107, 221, 325). Desidero moltissimo cbe voi vi facciate ad esaminare attentamente l'argomento ed a stabilire i veri principii fondamentali della fisica razionale. La cosa mi sembra possibile, giacchè non si tratta di discutere quali sieno le cause dei fenomeni, bensì di ponderare col ragionamento

quali cose noi possiamo ritenere come suggerite dai fatti e quali escludere, od almeno tener per dubbiosissime, perchè conseguenze di pregiudizii. — Mi eccita particolarmente a questo esame l'opera del Grove sulla correlazione delle forze fisiche, ed il grande argomento in essa trattato. Mi pare che mentre il celebre autore si fece a criticare i principii adottati dai fisici, siasi poi talvolta lasciato trarre dalla sua immaginazione a supposizioni destituite di fondamento, e sopra tutto mancanti di preciso significato.

1. Il *principale fondamento filosofico*, a cui mi appoggio si è che nulla noi sappiamo intorno alla costituzione dei corpi, oltre quanto ci è insegnato dalla sperienza; e che non è giustamente ragionare l'appoggiarsi all'analogia fra cose essenzialmente differenti. Io confido che tutti saranno dispostissimi ad accordarmi questo principio, poichè niuno crederà che la nostra anima abbia un'idea innata, per la quale possa stabilire a *priori* la natura dei corpi: ma quanto spero che niuno negherà il principio, altrettanto temo che si voglia poi rifiutarne le legittime conseguenze; vorrei quindi fin da questo momento prender in parola il lettore.

2. *Idea innata del fuori di noi.* Mentre non ammetto alcuna idea innata sulla costituzione dei corpi, sarei dispostissimo a credere che fin dal primo momento della nostra vita avessimo l'idea ben più necessaria dell'esistenza dei corpi fuori di noi, ai quali riferire le sensazioni che ne proviamo; poichè non so intendere come potessimo acquistare tale cognizione, nè so appagarmi di certi raziocinii, coi quali alcuni filosofi vorrebbero provare che quell'essere sì poco ragionatore qual è l'uomo, specialmente nella sua prima età, sia condotto a dimostrarsi la necessità dell'esistenza di esseri che non sono lui, od anche soltanto a sospettare tale distinzione tra lui e ciò che non è lui. Fortunatamente noi non abbiamo ad occuparci di questa nè di altra questione filosofica, nè sofisticare sulla verità di ciò ch'è palese.

3. Non si può sperare di stabilire alcun che di sicuro e di rigorosamente dedotto dai fatti se non si adoperi un linguaggio preciso e scevro d'equivoci. È cosa riprovevole che volendo fondare nuove teorie si adoperi il linguaggio delle antiche; e se mai ciò fosse una necessità, sarebbe una prova irrecusabile che la nuova teoria non può sussistere da sè; nè vale il dire volersi evitare i neologismi e l'imbarazzo di nuove parole, poichè è facile scegliere alcune parole opportune e stabilire il significato, in cui sempre s'intende di adoperarle. Un'altra cosa a mio credere necessaria, e che può tornare come criterio che una teoria fisica

abbia un preciso significato, si è stabilire le unità a cui si riferisce ciascheduna qualità suscettibile di quantità, ch' entra nel discorso.

4. *Opinioni sul calore.* I fisici anteriori alla riforma della chimica stavano indecisi tra le due ipotesi di attribuire i fenomeni del calore e del fuoco al moto delle particelle dei corpi, oppure ad un corpo speciale; ed in sulle prime si valevano a sostegno della seconda opinione dell' accrescimento di peso, che alcuni corpi ricevevano mediante il fuoco; il Nollet peraltro notava che ciò poteva dipendere d' altra materia, cui i corpi che si calcinavano potevano trarre dall' aria che li circonda, o dai vasi che li contengono; d' altronde egli non trovava convincenti le sperienze, colle quali si voleva rifiutare il peso a quel corpo speciale ch' era cagione dei fenomeni calorifici. Prevalse dappoi l' ipotesi dell' esistenza del calorico; e quantunque ciò fosse per considerarsi come un allontanamento dalla verità, pure dee riconoscersi che fu utilissimo progresso: allora mancavano affatto i mezzi, che non peranco si possedono, per porre a calcolo l' ipotesi delle vibrazioni molecolari; sicchè attribuire ad esse i fenomeni era assumere una causa vaga ed indeterminata, la quale si sarebbe prestata a spiegare ogni cosa, perchè infatti nulla avrebbe spiegato, tutto avrebbe lasciato nello stato d' indeterminazione. Fu invece un vero progresso il raccogliere tutti i fenomeni intorno all' ipotesi dell' esistenza del calorico, ed a seconda delle differenti specie dei primi immaginare le proprietà di questo corpo ipotetico; così in una serie di fatti numericamente determinati e bene classificati si apparecchiarono i fondamenti ad ogni teoria dei fenomeni calorifici.

5. *Proprietà del calorico.* Dopo che un corpo caldo è rimasto qualche tempo vicino ad un altro, si trova che questo presenta alcune delle proprietà che nel primo si scorgono diminuite; queste proprietà sono le stesse, od almeno s' assomigliano, qualunque sia la natura del corpo caldo; la trasmissione delle proprietà da un corpo ad un altro può ripetersi quante volte si voglia, ed i corpi riprendono ogni volta le loro qualità primitive. Questa e molte altre classi di fatti sono perfettamente espresse dall' ipotesi che i corpi contengano maggiori o minori quantità di *calorico*, il quale produce in noi la sensazione del caldo, dilata i corpi, li liquefà, li vaporizza, li decompone, e talvolta invece rende possibili le loro unioni, ecc. Il calorico può lungamente tenersi chiuso nei corpi, e con questi si muove senza produrre alcun sensibile accrescimento alla loro inerzia; il che non fa obbiezione alla materialità del calorico, poichè non è altro che un pregiudizio (cioè un giudizio anteriore al fatto) il credere

che tutta la materia debba essere inerte (il che vuol dire soltanto che resiste alle forze che ne mutano il movimento) e pesante, solo per questo che altri corpi si riconobbero inerti e pesanti: e chi ponesse importanza a salvare i pregiudizii, potrebbe dire che il calorico è inerte e pesante in un grado piccolissimo. Peraltro il calorico è incoercibile, vale a dire niun corpo è capace d'impedirne assolutamente il passaggio: alcuno volle scorgere in ciò una prova contro la materialità del calorico, quasichè se tutti i corpi conosciuti si lasciassero attraversare più o meno facilmente dall'aria, questa cessasse d'essere nn corpo.

6. Ponendo due corpi differenti nelle medesime circostanze, sicchè ricevano eguali accrescimenti di calorico, si trovò ch'essi presentano in gradi molto differenti le proprietà di corpi caldi, sia riguardo alle sensazioni che ci fanno provare, sia in riguardo a ciò che dicesi temperatura. Convenne dunque ammettere che i diversi corpi abbiano una *capacità pel calorico* differente anche sotto egual volume, e che la *capacità* di nn corpo cangi talvolta al solo cangiare della temperatura. A questa capacità pel calorico fu dato molto impropriamente il nome di *calorico specifico;* e chi non seppe o non volle intenderne il significato ne trasse argomento per criticare la teoria.

7. *Calorico latente.* Talvolta la capacità di un corpo pel caloriro sembrerebbe divenuta infinita, giacchè la temperatura non si accresce menomamente, finchè non sia entrata nel corpo una certa quantità di calorico; e si riconobbe che ciò avviene non ad una determinata temperatura, bensì quando il corpo soffre un qualche cangiamento. Supporre che il calorico si distrugga sarebbe stato quasi egualmente contrario all'idea della sua materialità, quanto immaginare che nelle opposte circostanze esso si creasse: nacque perciò l'idea del *calorico latente,* idea che bene esprimeva il fenomeno, senza però darne una vera spiegazione, com'è ogniqualvolta un fenomeno non si può ridurre ad altri già conosciuti. — Questa ipotesi rimarrà sempre nella memoria dei fisici, perchè ad essa si collegano lavori diligenti, che stabilirono i fondamenti della teoria del calorico; che l'ipotesi fosse precisa e suscettibile di esatti risultamenti, ne abbiamo una prova nelle unità delle varie misure relative al calorico.

8. *Definizioni delle forze.* Cerchiamo adesso di fissare il significato dell'altra ipotesi, nella quale negando l'esistenza del corpo *sui generis calorico* se ne attribuiscono i fenomeni alla *forza.* Ma prima ci è necessario dare definizioni esatte delle parole, e trattare della costituzione dei corpi. Tra le parole che nel mondo fisico ricevettero un maggior nnmero di significati vi è la parola *forza.*

Diremo *forza* quella causa che agendo per un certo tempo sopra una certa massa è capace di mutarne lo stato di quiete o di movimento di una certa velocità; tale è per esempio la forza di una molla. — Quando la forza è capace di agire egualmente su tutte le parti della massa la diremo *forza elementare*; essa, agendo per un certo tempo sopra una qualunque massa, le imprime una medesima velocità: tale è per esempio la *gravità*, cioè la *forza-elementare* esercitata dalla Terra sopra i corpi posti alla sua superficie. — Le forze non sempre esercitano tutta la loro azione nel mutare lo stato di quiete o di moto di un corpo: il più spesso sono impiegate ad equilibrare o vincere altre forze; allora esercitano delle *pressioni*. — L'azione utile di un motore in un certo tempo è il prodotto della forza per la componente della velocità del punto d'applicazione nel senso della direzione della forza; ciò dicesi *lavoro*. — *Motore* è una causa che in un certo tempo è capace di produrre un certo lavoro. — Un corpo, ch'è in moto (moto sempre determinato relativamente) suol dirsi avere una forza, ma a togliere ogni equivoco bisogna non adoperare mai la parola forza in tal significato; invece diremo *quantità-di-movimento* il prodotto di una massa per la velocità, e *semi-forza-viva* la metà del prodotto di una massa pel quadrato della sua velocità.

9. Per meglio stabilire i precedenti significati è necessario, od almeno utilissimo, fissare l'attenzione sulle unità spettanti rispettivamente a ciascuna quantità. Adotterò i segni, che usai nella precitata memoria sulle unità. — L'unità di *forza* è [**lm** : 1″ 1″], cioè il chilogramma (espresso con **l** massa di un litro d'acqua) moltiplicato per la velocità espressa da [**m** : 1″] cioè un metro per ogni minuto-secondo) e diviso ancora una volta per 1″, ch'è il tempo unitario, in cui si suppone che agisca la forza per produrre la *quantità-di-movimento* [**lm** : 1″]. — La *forza-elementare* ha l'unità [**m** : 1″ 1″], che moltiplicata per la massa [**l**] del corpo, su cui essa agisce, dà la *forza* [**lm** : 1″ 1″]. — La gravità equivale a quasi dieci (9,805) di queste unità di forza-elementare, per brevità la segno con

[**g**] = 9,805 [**m** : 1″ 1″].

Il *peso* ha l'unità [**gl**] = 9,8 [**lm** : 1″ 1″]. — Il prodotto di una forza per una velocità ha quindi l'unità

[**lm** : 1″ 1″] . [**m** : 1″] = [**lmm** : 1″ 1″ 1″];

e considerando l' effetto ottenuto in $1''$ vediamo che il *lavoro* ha l' unità

$$[\mathbf{lmm}:1''1''1''].[1'']=[\mathbf{lmm}:1''1''].$$

Se per unità di forza, anzichè $[\mathbf{lm}:1''1'']$, prendiamo il peso di un chilogrammo $[\mathbf{gl}]=9{,}8\,[\mathbf{lm}:1''1'']$, l' unità di lavoro è

$$[\mathbf{gl}].[\mathbf{m}:1''].[1'']=[\mathbf{glm}]=9{,}8\,[\mathbf{lmm}:1''1'']$$

e dicesi *chilogrammetro*, cioè il peso $[\mathbf{gl}]=9{,}8\,[\mathbf{lm}:1''1'']$, mosso di un metro $[\mathbf{m}]$ nella direzione opposta a quella della gravità. — Mille chilogrammetri sono un *dinamodo*, che esprimeremo con

$$[\mathbf{gsm}]=9{,}8\,[\mathbf{smm}:1''1''],$$

essendo $[\mathbf{s}]=1000\,[\mathbf{l}]$ la massa, e $[\mathbf{gs}]$ il peso di uno stereo ossia $[\mathbf{m}^3]$ di acqua. — L' unità di *motore* è quella che in $[1'']$ produce un' unità di lavoro, quindi l' unità di *motore* sarebbe

$$[\mathbf{lmm}:1''1'']:1''=[\mathbf{lmm}:1''1''1''];$$

ma, prendendo invece per unità di lavoro il dinamodo, l' unità di motore è

$$[\mathbf{gsm}:1'']=9805\,[\mathbf{lmm}:1''1''1''].$$

Chiamando *dinamo* il motore che in 24 ore $=86400''$ eseguisce il lavoro di mille dinamodi, il dinamo è espresso da

$$11{,}57\,[\mathbf{glm}:1'']=113{,}44\,[\mathbf{lmm}:1''1''1''].$$

Il *cavallo-vapore* è un motore equivalente a 6,48 dinami, cioè a

$$75\,[\mathbf{glm}:1'']=735{,}4\,[\mathbf{lmm}:1''1''1''].$$

La *quantità-di-movimento* ha, come dicemmo, l' unità $[\mathbf{lm}:1'']$, cioè la massa $[\mathbf{l}]$ di un chilogramma moltiplicata per la velocità $[\mathbf{m}:1'']$; e la *semi-forza-viva* ha l' unità $[\mathbf{lmm}:1''1'']$, cioè la stessa unità del lavoro; vi è una specie di equivalenza tra un lavoro ed una semi-forza-viva espressi dallo stesso numero; perciò un chilogrammetro *equivale* a quasi dieci unità di semi-forza-viva, ed un cavallo-vapore può generare in ciascun minuto-secondo la semi-forza-viva espressa dal numero 735,4.

10. *Materia, sue forze.* Non credo necessario di occuparmi a superare la

difficoltà di definire la *materia*. In essa dee notarsi la *massa*, ch'è quella che ci ha servito a definire la forza, e la quale si misura colla bilancia di torsione osservando qual velocità le comunichi in 1″ la forza di un filo metallico che sofferse una data torsione. — La materia è dotata di quella forza-elementare, che diresi attrazione universale; questa rapidamente diminuisce quando si esercita in luoghi discosti da quello, che si dice *occupato* dalla materia. Questa forza, come forse tutte le altre, è un'azione vicendevole; cioè l'attrazione fra due parti di materia tende a muovere tanto l'una come l'altra; l'effetto della forza, cioè la velocità prodotta è tanto minore quanto maggiore è la massa da muoversi. Due porzioni di materia, che fossero in quiete ed abbandonate a loro stesse, si avvicinerebbero con moto acceleratissimo, sicchè verrebbe a *prodursi* una ognor crescente semi-forza-viva, che si *distruggerebbe* quando le due masse venissero a riunirsi insieme; nel solo caso che le due masse descrivessero due circoli intorno al loro comune centro-di-gravità la semi-forza-viva rimarrebbe costante, altrimenti essa andrebbe periodicamente aumentando e diminuendo. — Del resto la forza-elementare detta attrazione universale è quasi del tutto insensibile nella fisica, quindi è da lasciarne lo studio all'astronomia.

**11.** Oltre a ciò la materia ha una *forza* (non già *forza-elementare)* che si palesa ogniqualvolta due corpi sono in tal posizione che gli spazii da loro *occupati* vengono al contatto. Questa forza, che in mancanza d'altro nome potremo dire d'*impenetrabilità*, talora cresce rapidamente, cioè diviene grandissima con minima differenza nella distanza, tal altra volta va crescendo gradatamente; come quando vengono a contatto due fluidi aeriformi. Può dirsi in qualche modo che questa forza dipende unicamente dalla natura della materia agente, e non da quella della paziente; così se contro un gas venga ad urtare un solido esso soffrirà un'egual forza (resistenza) qualunque sia la natura del corpo solido.

**12.** Vi sono altre forze *elettive*, per le quali due materie si attraggono dipendentemente dalle loro mutue nature: due gas posti a contatto si compenetrano vicendevolmente; lo stesso avviene molto spesso tra due liquidi, o tra un liquido ed un solido. Questa può considerarsi come una forza-elementare, perchè agisce ugualmente su ciascuna parte di materia, ma ci sono incognite le sue leggi e la sua misura. Quantunque la forza continui ad agire, pure le parti di materia non si muovono con moto accelerato, pare anzi che il moto sia ritardato; ma, lo ripeto, le leggi della forza di *dissoluzione* sono ignote.

**13.** Molti corpi presentano pure una forza d'*espansione* per cui le loro

parti si allontanano, cioè vanno ad occupare uno spazio maggiore, in quanto che non vi si opponga la furza d'*impenetrabilità* (§ 11) dei corpi circostanti; questa è una forza-elementare, che agisce forse secondo le solite leggi delle forze. Potrebbe sembrare che questa forza fosse *elettiva*, vale a dire che le parti di un gas o di un vapore fossero respinte solamente dalle parti della stessa materia, giacchè una pressione anche grandissima di un altro fluido aeriforme ritarda e non impedisce l'espansione del primo; ma è più probabile che l'effetto dipenda dalla forza di dissoluzione (§ 12). Così, per esempio, i vapori dell'acqua calda sollevano l'aria soprastante quando la loro forza d'espansione è maggiore della tensione dell'aria; ed in ogni caso per la forza di dissoluzione il vapor acqueo e l'aria si penetrano vicendevolmente e si mescolano fino a formar una materia omogenea.

14. Altre azioni parecchie appartengono alla materia, e danno origine ai fenomeni fisici ed ai chimici; non possiamo negare che sieno tutte riducibili a forze, pur sembra più verisimile che sieno cause agenti in maniera differente dalle forze: senza nulla poter decidere, le diremo *potenze*. Così un complesso di forze e di potenze costituisce la materia: questa è la teoria *dinamica* sostenuta da parecchi filosofi. — La maggior parte dei fisici ammettono inoltre che la materia sia composta di certi *atomi* perfettamente solidi indivisibili indistruttibili, che nessuno ha veduti, ai quali si fa grazia di attribuire tutte quelle forze e quelle facoltà. Questi atomi puntando tra di loro spiegavano in qualche modo l'*impenetrabilità* dei corpi; essi si spostavano un pocolino perchè il corpo si dilatasse, e per lasciare tra mezzo i *pori* tanto necessarii a salvare l'impenetrabilità dalla mentita che riceve dalla compressibilità; colle loro forme geometriche spiegavano (e ciò era il meglio) le variabili forme dei cristalli; unendosi insieme secondo le leggi degli equivalenti chimici formavano gli *atomi composti* (passiamo la contraddizione di parole). — Ma questi atomi erano anche d'imbarazzo, e siccome per certo in alcuni corpi dovevano starsene ben lontani fra di loro, così questi poveri atomi si riducevano tanto piccini in confronto delle loro distanze, che le opinioni dei fisici si avvicinano più o meno a quella del Young, secondo la quale le grandezze degli atomi sarebbero alle loro distanze nello stesso rapporto di cento uomini ugualmente distribuiti su tutta l'Inghilterra. Si vede bene che la solidità di quegli atomi non gioverà menomamente a spiegare nè l'impenetrabilità, nè la cristallizzazione, nè le composizioni chimiche. E l'Inghilterra non diventerà niente più deserta se vi togliamo quei cento abitatori. Alcuno potrebbe obbiettare che gli atomi, per piccoli e per lontani che sieno,

sono pur sempre necessarii; poichè senza di essi non esisterebbe la materia: facendomi forte del principio accordato al § 1 dimanderò qual fatto, qual ragionamento, qual analogia ci renda almeno probabile che le forze e le potenze della materia non possano esistere se non in quanto appartengano, non si sa come, a quegli ipotetici atomi solidi. Quando siamo nell'ignoranza, ogni asserzione di meno è probabilmente un errore risparmiato; le forze della materia esistono, perchè ne vediamo gli effetti, ma che le forze non esistano per loro stesse e sieno soltanto proprietà di atomi solidi, questa è un'ipotesi affatto gratuita, da nessuna ragione resa probabile, che non facilita alcuna spiegazione, e che alle altre oscurità aggiunge quella della dipendenza tra le forze e gli atomi. Si riconoscerà facilmente che il rifiutare gli atomi non toglie nessun mezzo alle spiegazioni; solamente potrebbe dirsi che molte teorie matematiche sono fondate sull'ipotesi di atomi che vicendevolmente si attraggono o si respingono; ma agli atomi possono sostituirsi particelle di materia, ed il Cauchy osservò (*Compte rendu*, 16 Janv. 1854, pag. 67) che un corpo, invece che come un sistema di punti materiali, può considerarsi come una massa continua, in ogni punto e per ogni piano essendovi una speciale pressione o tensione.

15. Si può asseverantemente conchiudere che ogni corpo o porzione di materia è un complesso di forze e di potenze, una delle quali (§ 10) si estende in tutto lo spazio, le altre si rendono sensibili soltanto in un limitato spazio, ch'è quello che dicesi *occupato* dal corpo; ogniqualvolta vuole mutarsi questo spazio, cioè muoversi il corpo, occorre una forza proporzionale alla sua massa, forza ch'è una di quelle del corpo stesso, ma per la cui azione occorre la presenza di un altro corpo (pare che ogni forza sia un'azione vicendevole). L'aggiungere a questo indubitato complesso di forze e di potenze alcuni atomi solidi di volume immensamente piccolo anche rispetto alle loro distanze e di densità immensamente grande, stabilire che la massa sia propria soltanto degli atomi, e che da essi *emanino* tutte le forze, queste non sarebbero che ipotesi affatto gratuite, cui niuna buona ragione nè giustifica nè suggerisce; e d'altra parte tali ipotesi non giovano a spiegare alcun fenomeno.

16. *Impenetrabilità, porosità, divisibilità.* Due o più materie possono insieme compenetrarsi in modo di occupare uno stesso volume, che potrà essere maggiore o minore di quelli che occupavano quando erano separate: questo fatto è palesato dai gas, dalla maggior parte dei liquidi, dalle dissoluzioni, dalle combinazioni chimiche, ecc. Non ammettendo gli atomi, siamo liberi dall'imbarazzo

di cercare in qual modo essi si aggruppino tra di loro. — L'impenetrabilità e la porusità dei corpi erano due creazioni del nostro spirito, ognuna delle quali veniva giustificata soltanto dal bisogno di sostenere l'altra (veggasi la mia memoria sulle proprietà generali dei corpi), esse cadono da per sè, perchè non appoggiate che ad analogie ardite ed ingiustificabili. — Che la materia sia divisibile, i fatti lo mostrano; che poi la divisibilità abbia un limite, questo è uno dei soliti pregiudizii senza scopo nè utilità. D'altronde è pur vero che noi istruiti soltanto da cose finite siamo incapaci di rettamente intendere l'infinito, e quindi anche l'infinita divisibilità della materia; ma noi abbiamo troppe difficoltà nel finito per sentire dispiacere di non poter trattare tale inutile questione dell'infinita divisibilità.

17. *Ipotesi sul calore.* I corpi sono più o meno caldi, e limitandoci ad un solo fatto, essi ci sono cagione di una speciale sensazione: un corpo diviene meno caldo, mentre diviene più caldo quello che gli stava vicino. Se un corpo produce in noi una sensazione vuol dire ch'esso ha la *potenza* di produrla, se un corpo si raffredda e il vicino si riscalda vuol dire che quella potenza è passata dall'uno all'altro. Ciò non è immaginare ipotesi, è soltanto annunciare il fatto. — Abbiamo detto materia un complesso di forze e di potenze; ad una potenza, che si può staccare dalle altre, daremo noi il nome di materia? questa può considerarsi come una questione di convenienza, di opportunità; peraltro alla parola *materia* noi associamo l'idea di cosa indistruttibile, che non può nè diminuire nè aumentare; così dicendo che il calorico è una *materia sui generis*, asseriamo implicitamente che la sua quantità non può per alcuna maniera cangiare, è dunque più opportuno dire che il calorico è una potenza, e che la materia è un complesso di forze e di potenze, delle quali alcune, come quella che costituisce la massa o il peso, non possono nè crescere nè diminuire. — Alla potenza detta *calorico* rimarrà unita quell'altra potenza che dicesi massa; e quella forza-elementare che dicesi attrazione universale? Nulla *a priori* può farci propendere a rispondere col sì o col no: il fatto sembra provare che il calorico non ha peso. — La potenza *calorico* modificherà le sue azioni secondo che si trova unita con questa o con quelle forze e potenze? Nulla si può decidere se non che colla sperienza. Quando quella potenza calorico sarà tornata insieme con quelle forze e potenze, con cui prima coabitava, riprenderà essa precisamente la stessa energia, oppure rimarrà modificata dai sofferti passaggi? Anche qui spetta alla sperienza il decidere; peraltro è per noi un vantaggio che la sperienza sia favorevole al primo supposto, così la scienza è meno complicata.

18. *Calorico come semi-forza-viva.* Quantunque a chi giudica spregiudicatamente debba riuscire indubitato che il considerare il calorico come una potenza speciale non è che l'esposizione del fatto, e che quanto meno si asserisce tanto più si rimanga esente da errore; pure se si possa asserire qualche altra cosa, e se la nuova ipotesi sia conforme ai fatti, egli è certo che la scienza farà un progresso, giacchè essa non è l'enumerazione dei fenomeni bensì la loro classificazione. — Ecco la nuova ipotesi. La potenza, che dicemmo *calorico*, è una semi-forza-viva, questa tutta sola può trasportarsi da un corpo ad un altro, ed essa può cangiarsi in quella semi-forza-viva, ch'è propria dei corpi in movimento. — Dicemmo *cangiarsi*, poichè la prima semi-forza-viva è ben differente dalla seconda; questa è palese, l'altra è affatto invisibile; non è già il corpo che si muove, sono le sue minime particelle; e siccome se continuassero a muoversi in linea retta il moto diverrebbe ben presto palese, così bisogna ammettere che si tratti di un moto vibratorio, o curvilineo per linee rientranti. — Quali sono le forze che mantengono indefinitamente tali movimenti vibratorii? Non è facile il dirlo; ma noi nulla sappiamo sull'intima essenza delle cose, bisogna che ci contentiamo d'ignorar molto, purchè ciò che ammettiamo senza intenderlo, ci sia poi fecondo di conseguenze. — Soltanto parrebbemi che si dovesse accordare che l'ipotesi semplice e naturale non è già quella delle vibrazioni calorifiche; e che in questa, anzichè in quella della materialità del calorico, si accumulano supposizioni gratuite, alle quali manca ogni analogia ed ogni spiegazione. — Quando alcuno dice che la fisica non ha bisogno di supporre un corpo immaginario qual è il calorico, e che i fenomeni calorifici sono soltanto effetti del movimento, può essere ch'egli dica una verità, ma intanto è certissimo ch'egli dice una cosa affatto inintelligibile a chi sia abituato a veramente intendere qualche cosa: particelle o molecole o atomi di un corpo che vibrano, o che si aggirano in orbite rientranti; — che non si disturbano menomamente nei loro movimenti, e continuano a muoversi indefinitamente; — ma che pure comunicano a poco a poco il loro movimento ad altre molecole vicine (comunicazione del calorico per contatto); — che accelerano il loro movimento quando vengono compresse (riscaldamento dell'aria compressa); — che talvolta comunicano il movimento con somma rapidità, ma soltanto per linea retta o per linee riflesse o refratte e senza muovere le molecole presso cui tragittano (calorico raggiante); — che talvolta cangiano il loro movimento vibratorio invisibile in un vero movimento di massa (cangiamento del calorico in lavoro)...; tutti questi a chi voglia considerarli

spregiudicatamente sono veri misteri. — Si adottino pure, ma non si pretenda di mettere per tal guisa la fisica nella strada della evidenza, e toglierla alle chimeriche supposizioni dei fluidi imponderabili. — Giova avvertire che le predette obbiezioni non valgono contro i casi nei qoali hanno luogo vere vibrazioni sonore o luminose, e che perciò queste non danno alcon appoggio di analogia alle vibrazioni calorifiche; il calcolo dimostra come quelle vere vibrazioni si mantengano e si propaghino. — Chi ha pototo fare che un suono se ne stia ristretto in piccolo spazio propagandosi d'intorno con quella lentezza con coi si propaga il calorico? Quando si sentì un suono ad accrescersi perchè si comprimeva il corpo? Il suono e la luce si videro propagarsi sempre alla stessa maniera qualunque sia il mezzo che li trasmetta; e se non si propagano, si estinguono; tale è il destino del movimento vibratorio.

19. Io peraltro sono ben lontano dal pretendere che non si debba ammettere se non che quello che s'intende; anzi nella succitata memoria sulle unità ec. ho lungamente difese qoelle che dissi ipotesi o pseudoipotesi, e mostratine i vantaggi. Soltanto mi pare malissimo fondata la pretesa di alconi di liberare la fisica dalle chimere, sotto il coi giogo dicono esser finora rimasta, e ciò ponendo innanzi teorie, che non possono resistere ad un esame alcun poco spregiudicato. — A mio credere il miglior partito si è non di nascondere le difficoltà inorpellandole con parole insignificaoti, ma di esporle nettamente. Così per esprimere quell' importantissimo fatto della conversione del calorico in lavoro, quale sembra ricevere ogni dì maggiori conferme, io direi che quella *potenza*, che fo detta (§ 17) *calorico*, è capace di convertirsi in un *lavoro* (§ 8), e che viceversa il lavoro può convertirsi in calorico. — Colla parola *potenza* intendo una causa (§ 14) che forse s'assomiglia ad una forza; non è dunque strano ch'essa produca un lavoro; bensì è nuovo che la potenza producendo lavoro si distrugga, mentre le vere forze rimangono invariate sia che esercitino un'azione o che restino inattive. Ricordiamoci esser un pregiudizio voler trovare sempre l'analogia, e dare ad essa importanza: noi conosciamo sì poche cose, e vogliamo ch'esse si assomiglino per apprenderle più facilmente (credo che qoesta sia la vera ragione, per la qoale abbiamo tanta predilezione per l'analogia): conosciamo la gravità ch'è una forza, la quale rimane costante anche quando produce nn lavoro; ciò non ci deve impedire di ammettere anche una potenza che si estingua quando ha prodotto un lavoro, e risorga quando il lavoro si distrugge.

20. *Corrélation des forces physiques par W. R. Grove.* Il principale difetto dell'opera del Grove (e lo sarà di tutte quelle che avanzano idee non ancora ben determinate, e che sono poco precise anche nelle menti dei loro autori) si è di non istabilire esattamente il significato delle parole, e di adoperare quelle denominazioni e quelle frasi, che hanno significato soltanto nelle vecchie teorie, che si vorrebbero abbattere. Nello stesso titolo dell'opera le *forze fisiche* hanno un significato molto indeterminato, e che sembra abbracciare tutte le cause di effetti fisici; ed anche venendo a parlare del movimento, l'autore avanza l'opinione (pag. 28 dell'edizione di Parigi, 1856) che la forza non può essere annientata, ma soltanto divisa o alterata; e dagli esempii ch'egli soggiunge rimane dubbioso se per forza egli intenda la quantità-di-movimento, o la semi-forza-viva; ma per certo non intende la forza qual causa di movimento (§ 8). Quando parla del calore (pag. 42) dice che non lo vediamo che come una forza meccanica, repulsiva, una forza antagonista dell'attrazione di coesione o d'aggregazione, e tendente a muovere le particole di tutti i corpi od a separarle le une dalle altre; qui per forza deve intendersi una vera forza. — Descritto poi l'effetto di dilatazione e di contrazione di due corpi, il secondo più caldo del primo, posti a contatto, il Grove ne conchiude che la materia ha un potere molecolare repulsivo, un potere di dilatazione, il quale è comunicabile per contiguità o prossimità. Ciò è conforme a quello che dissi precedentemente il calorico essere una *potenza*, colla qual parola comprendo anche la forza-elementare (§ 8). Ma quando l'autore prosegue dicendo che il calore (pag. 44) « così considerato è un movimento, e questo movimento molecolare può cangiarsi in movimento di masse o in movimento colla forma ordinaria e palpabile; » l'idea diviene almeno oscurissima. — La quantità-di-movimento delle molecole d'un corpo che si dilata è piccolissima, e la semi-forza-viva ritorna ben presto nulla, poichè le molecole rimangono ferme nella posizione di dilatazione; dunque un corpo riscaldato non differisce sotto questo riguardo da un corpo freddo. È pure inesatto che i termometri (pag. 45) sieno misuratori del calore per mezzo del movimento; giacchè è ben vero che non vi può essere dilatazione senza movimento, e che nei termometri si cerca di rendere il movimento quanto più si possa visibile; ma è pur vero che questo movimento è affatto accessorio, e sarebbe far equivoco sulla parola il credere che vi sia qualche relazione tra questo movimento e quello in cui si vorrebbe consistesse il calorico.

21. L'autore trova (pag. 46) che l'idea del calorico latente ha qualche

cosa di simile al vecchio principio del flogisto, e poi dice (pag. 51) che l'acqua a 75° deve redere al ghiaccio tanto di calore quanto ne bisogna per separarne le particelle e mantenerle nello stato liquido; e poco appresso soggiunge (pag. 52) « la forza, riguardando semplicemente il calore come una forza meccanica, ch'è impiegata a mettere in libertà o a staccare le particelle del ghiaccio, è tolta all'acqua liquida. » In ciò io veggo poco più che la sostituzione della parola *calore* all'altra *calorico:* si noti eziandio che nell'ipotesi della materia dotata di forze il trasportarsi di una forza dall'acqua nel ghiaccio è un'idea contradditoria a quella che le forze sieno proprietà della materia; nella teoria dinamica può ammettersi la separazione delle forze o potenze, ed allora può ritenersi che la potenza detta calorico abbandoni quel complesso di forze e di potenze, che dicesi acqua, e si unisca al ghiaccio, e ne produca la liquefazione, dopo di che rimanga dissimulata e non si palesi come potenza calorifica se non quando il ghiaccio liquefatto torna a solidificarsi. Ma tutti troveranno che questo discorso è ben poco differente da quello in cui si ammetteva il calorico latente.

22. Prendo un altro esempio dal Grove (pag. 53). « Se una sorgente di calore è applicata all'acqua in cui sia immerso un termometro a mercurio, sulle prime l'acqua e il mercurio si dilateranno ambedue; giunti ad un certo punto, la forza attrattiva delle molecole dell'acqua è tanto superata che l'acqua si vaporizza; a questo punto il calore o la forza incontrando una resistenza molto meno grande da parte dell'attrazione delle particole di vapore che da parte delle particole del mercurio agisce unicamente sulle prime; il mercurio non deve più dilatarsi; il vapore, al contrario, si dilata grandemente. » Non è più il ghiaccio che per giungere a separare le sue molecole si fa dare dall'acqua precisamente tanto calore quanto gliene bisogna; si è la forza-calore che stima più comodo di agire nel vapore dove trova poca resistenza, e perciò cessa di agire nel mercurio: ma chi può intendere la ragione della esigenza del ghiaccio per liquefarsi, e della preferenza di una forza ad agire soltanto dov'è minore la resistenza? E chi immaginerebbe che quella forza-calore che ha cessato ogni suo effetto, perchè s'impiegò a vaporizzare l'acqua, tornerà poi ad apparire quando il vapore si farà nuovamente liquido? Sono queste cose più inintelligibili e più lontane da ogni analogia di quella materia (calorico), che rimane latente senza più manifestare le sue proprietà, e, mutate le circostanze, ritorna libera.

23. Non pare che queste oscure maniere di ragionare sieno scevre d'errore; poichè l'autore ne conchiude (pag. 55) che un termometro a mercurio a

temperatura superiore a 0° dovrebbe liquefare tutto il ghiaccio di cui sarà portato a contatto. I fisici che ragionano mediante quel mito o quel flogisto, che dicesi calorico latente, direbbero invece che il termometro discenderà a zero tosto che avrà liquefatta una piccola porzione di ghiaccio. L'esperienza è facile per decidere tra le opposte conclusioni delle due teorie.

**24.** Il Grove trova (pag. 56) una bella conferma della sua dottrina nel solidificarsi di una parte di gas acido carbonico, mentre un'altra parte esce per uno stretto orificio da un vaso, in cui il gas era potentemente compresso: l'improvvisa dilatazione esige, secondo l'autore, un sì grande rinforzo di forza che alcune altre parti del corpo tanto si contrattano che finiscono col solidificarsi. Cerchiamo d'indovinare la teoria che dicesi per tal maniera confermata: le molecole materiali dell'acido carbonico sono dotate della forza di coesione, e di una forza repulsiva, che moltissimo prepondera alla prima anche nello stato di gran condensamento e di bassa temperatura; le molecole presso l'orificio impiegano a dilatarsi non solamente la propria forza repulsiva, ma eziandio una gran parte di quella delle molecole, che stanno in fondo del vaso, le quali abbandonate alla forza di coesione si solidificano. — Nasce spontanea la domanda del perchè le molecole presso l'orificio non si contentino di dilatarsi quanto comporta la loro propria forza, e vogliano prendersi anche la forza altrui.

**25.** Conchiude l'autore dicendo che il calorico è una forza capace di produrre il movimento (pag. 69), e più sotto (pag. 82) dice che dal momento che il calore si paragona nei suoi effetti ad una forza meccanica, si deve aspettarsi *a priori* che una data quantità di calore agendo sopra una materia data produca una quantità data di potenza motrice; ed allora si presenta la questione se una stessa quantità di calore produrrà la stessa quantità di forza meccanica qualunque sia la materia su cui il calore agisce. Soggiunge ch'egli considera il calore come essendo esso stesso un movimento od una potenza meccanica, ed ogni quantità di calore è misurata da una quantità di movimento. Ed ammettendo (pagina 84) che tutte le volte che un corpo si dilata esso si raffreddi (nel che riconosce che vi sono alcune eccezioni) egli crede conchiuderne che la potenza meccanica generata dal calore è definita, cioè la stessa qualunque sia la sostanza su cui agisce il calore. — Mi pare difficile intendere il vero significato di questa opinione. Per togliere la possibilità di equivoco aggiungo ad ogni quantità la sua unità espressa colle segnature spiegate al § 9. Il calore non è una forza-elementare [**m**:1″ 1″], giacchè un corpo caldo non ne muove un altro; gli effetti

del calore sono spesso molto differenti da quelli di una forza meccanica. Egli è vero che se un corpo si riscalda in esso vi è movimento; ma questa è una frazione piccolissima riferita all'unità [**lm**] (con che esprimo la massa di un chilogramma spostato per la lunghezza di un metro); forse che per potenza motrice prodotta dal calore l'autore intende la pressione [**lmm**: 1″ 1″], che il corpo riscaldato può esercitare nel dilatarsi, od anzi il lavoro [**lm**: 1″ 1″] eseguito da tale pressione. Come poi il calore può essere un movimento od una potenza meccanica?, e per quantità di movimento intendesi veramente il prodotto di una massa per una velocità [**lm**: 1″]?

26. Il Grove crede (pag. 84) poter dimostrare nel seguente modo che « la potenza meccanica generata dal calore è definita, ossia ch'essa è la stessa per una data quantità di calore, qualunque sia la sostanza sulla quale questo calore agisce: » due sorgenti eguali di calore consistenti ciascuna in un chilogramma di mercurio a 200° sono impiegate a sollevare, l'una mediante la dilatazione dell'aria e l'altra mediante il vapor acqueo, due emboli di stantuffi legati insieme in guisa da farsi equilibrio: dunque se uno degli emboli salisse, l'altro discenderebbe e colla compressione del gas determinerebbe un accrescimento di calore, il quale alla sua volta eleverebbe la temperatura di uno dei due chilogrammi di mercurio, il che dall'autore è detto contradditorio. — Prima di tutto io considero come un pregiudicio quello di credere impossibile che, mediante un chilogramma di mercurio a 200°, si aumenti l'egual temperatura di altro mercurio; ed infatti lasciando raffreddare quel primo chilogramma si può (come vedremo al § 28) ottenere un lavoro meccanico, e col mezzo di questo si può, mediante la compressione od in altro modo, accrescere la temperatura dell'altro mercurio, che si suppone sottratto al raffreddamento prodotto dai corpi circostanti. Inoltre dalle parole del Grove sembrerebbe che la potenza meccanica prodotta dal calore dipendesse unicamente dalla temperatura, oppure che il calore trasmesso dal mercurio al gas fosse convertito tutto intero in potenza meccanica; le quali cose non sono ammissibili.

27. *Teoria meccanica del calorico.* Il calore tende ad equilibrarsi, vale a dire, se due corpi hanno temperature differenti il più freddo tende a riscaldarsi ed il più caldo a raffreddarsi; questo passaggio di calore da un corpo ad un altro può eseguirsi mediante alternative dilatazioni e contrazioni di uno stesso corpo, che serve a produrre i due cangiamenti di temperatura, e queste dilatazioni e contrazioni possono produrre un lavoro meccanico. Partendo da questo fatto e dal

principio che sia impossibile il moto perpetuo, il fisico S. Carnot (1824) e più tardi E. Clapeyron (*Journ. École polytechn.*, 1834, cah. XXIII) stabilirono una teoria sulla potenza motrice del calore, secondo la quale il passaggio non immediato di calore da un corpo ad un altro può dar origine ad un lavoro; e viceversa, mediante un lavoro meccanico si potrebbe render disuguali le temperature di due corpi, che prima erano a temperature uguali. Un lavoro può andar perduto, come, per esempio, quando si lascia discendere un corpo senza profittarne col far ascendere un altro; o quando si urtano due corpi non perfettamente elastici: anche un disequilibrio di calorico può togliersi senza ricavarne un corrispondente lavoro meccanico; ciò avviene se i due corpi di temperature differenti sono in immediata comunicazione.

28. Acciocchè si tragga tutto il possibile partito da una differenza di temperatura di due corpi dati bisogna che il passaggio del calorico abbia luogo soltanto tra corpi la cui differenza di temperatura sia piccolissima; ed ecco come la cosa è teoricamente possibile. I due corpi, che noi diremo *caldo* l' uno e *freddo* l' altro, non sieno tra loro in immediata comunicazione calorifera, ed abbiasi un fluido espansibile o vaporizzabile, il quale si ponga da prima in comunicazione col corpo caldo e vada dilatandosi; esso ritrarrà dal corpo caldo tanto calorico quanto occorre acciocchè le loro temperature si mantengano sensibilmente uguali: supponiamo che ad un certo istante cessi ogni comunicazione calorifica, ed il fluido continui ad espandersi, esso decrescerà di temperatura: quando avrà precisamente la temperatura del corpo freddo lo si ponga in comunicazione calorifica con questo, e mediante una forza esterna lo si comprima così esso trasmetterà una parte del proprio calorico al corpo freddo, nel mentre che le loro temperature si manterranno sensibilmente ugualmente: finalmente il fluido s' isoli da ogni comunicazione calorifica in tale istante, che continuando a comprimerlo esso riacquisti nello stesso tempo il suo stato primitivo e la temperatura del corpo caldo. Durante questo *compiuto ciclo* di azioni il fluido espansibile avrà esercitato un lavoro meccanico sia colla sua dilatazione a temperatura costante, sia colla successiva espansione a temperatura decrescente, e per lo contrario avrà richiesto un lavoro esterno prima a temperatura costante poi a temperatura crescente: è chiaro che il primo lavoro supera il secondo; sicchè dall' equilibrarsi delle temperature può ricavarsi un lavoro meccanico, e questo sarà il medesimo qualunqne sia la natura del fluido espansibile adoperato per convertire in lavoro la diminuzione di temperatura del corpo caldo, e l' accrescimento

nel corpo freddo. Ciò si fonda su questi due principii, che sembrano comprovati da tutti i fatti naturali. 1.° È impossibile il moto perpetuo; 2.° quando, per esempio, nel primo dei precedenti stadii, il fluido aeriforme riceve calorico dal corpo caldo, e si dilata esercitando un lavoro, se vi si applicasse una forza comprimente quanto poco si voglia superiore alla forza di dilatazione, il fluido si comprimerebbe e darebbe al corpo caldo precisamente tanto calorico quanto ne prende nel primo caso; dicasi lo stesso per tutti gli altri stadii di azione. Ora se mediante un fluido $A$ l'equilibrio di temperatura tra il corpo caldo ed il freddo producesse un lavoro meccanico superiore a quello che potrebbe produrre il fluido $B$; questo si potrebbe adoperare in senso *inverso*, cioè posto $B$ in contatto col corpo freddo, lo si lascierebbe dilatare, con che produrrebbe un lavoro e nello stesso tempo sottrarrebbe del calorico dal corpo freddo; staccatolo da questo corpo, lo si comprimerebbe, ponendolo in comunicazione calorifica col corpo caldo nel momento in cui le loro temperature fossero divenute eguali, ed allora continuando a comprimerlo si farebbe in guisa che cedesse al corpo caldo tanto calorico, che poscia isolato nuovamente il fluido $B$ e lasciatolo dilatare esso giungesse nello stesso tempo alla temperatura del corpo freddo ed a uguale stato di dilatazione col quale cominciò il predetto ciclo di azioni. Per tal maniera mentre il fluido $A$ tende ad uguagliare le temperature dei corpi caldo e freddo, il fluido $B$ farebbe ufficio opposto ed esattamente uguale, sicchè i due corpi manterrebbero temperature costanti nello stesso tempo che si otterrebbe sempre l'eccesso di lavoro meccanico prodotto dal fluido $A$ in confronto di quello distrutto da $B$, il che è in opposizione col 1.° principio.

29. Il predetto teorema del Carnot ci offrirà il limite massimo dell'azione di ogni macchina *piromotrice*. Il dato sperimentale che dobbiamo conoscere si è il rapporto $\lambda : C$ tra il lavoro $\lambda$ ottenuto e la quantità di calorico, che in uno dei predetti cicli compiuti è emessa dal corpo caldo, supposto che la sua corrispondente diminuzione di temperatura sia trascurabile; questo rapporto sarà funzione della differenza di temperatura $t$ di due corpi caldo e freddo, ed anche della temperatura $T$ del corpo caldo. Io prendo per unità (§ 9) di lavoro mille chilogrammetri [**gsm**], cioè uno stereo d'acqua [**s**] sollevato all'altezza di un metro [**m**] sotto l'azione della gravità [**g**] $=$ 9,8 [**m** : 1″ 1″]; per unità di calorico [**c**] intendo 100 calorie, o più propriamente la quantità di calorie occorrenti a portare la temperatura d'un litro d'acqua [**l**] da 0° a 100°.

30. Rammentando che l'azione della supposta macchina è suscettibile

d' *inversione* (§ 28), vale a dire che mediante il lavoro $\lambda$ si potrebbe introdurre nel corpo caldo la quantità di calorico $C$, si riconoscerà che l' impossibilità del moto perpetuo conduce alla seguente conseguenza. Si abbiano tre corpi delle temperature $T$, $T-t$, $T-t-t'$; la quantità di calorico $C$ sia trasmessa (coll' intermezzo di un fluido espansibile, e nel modo già detto) dal primo nel secondo corpo, il che produrrà il lavoro $\lambda$, poi dal secondo nel terzo, il che produca il lavoro $\lambda'$, il passaggio della stessa quantità di calorico dal primo nel terzo dovrà produrre lo stesso lavoro $\lambda_1 = \lambda + \lambda'$. Sicchè se il rapporto $\lambda : C$ non dipende dalla temperatura $T$, ma soltanto dalla differenza $t$, dovrà essere $\lambda = mCt$, essendo $m$ un numero costante, che esprime il lavoro che può ricavarsi da un litro di acqua portato dalla temperatura di 100° a quella di 0°.

31. *Teoria della trasformazione del calorico in lavoro.* La teoria del Carnot mi sembra fondata sopra principii plausibilissimi e poco mi pare che si potrà opporle; egli è di fatto che ogni *piromotore* ha per causa due corpi di differenti temperature, e per effetto un lavoro ottenuto da un parziale equilibrio tra quelle temperature. Essendo il disequilibrio di temperatura la causa, sembra ragionevolissimo supporre che ogniqualvolta si pongano in contatto corpi di differente temperatura si avrà una perdita, perchè l' equilibrio si stabilirà almeno in parte senza ottenere il corrispondente lavoro. — Alle conclusioni fatte nel § precedente si oppone un' ipotesi, che, come già ho accennato, va ognora più acquistando seguaci ed appoggio di osservazioni. Secondo questa ipotesi ogniqualvolta si ottiene un lavoro vi è una corrispondente distruzione di calorico, perlochè si dice il calorico non essere che una particolare manifestazione di lavoro o di semi-forza-viva.

32. Se non che quando non si ammette la materialità del calorico ciò richiede qualche spiegazione; è necessario dire mediante quali sperienze si potrebbe determinare il numero di calorie $\frac{1}{100}$ [**c**] contenute in un dato corpo in date circostanze; per esempio nella massa d' un chilogramma [**l**] d' aria contenuta nel volume [**m**$^3$] ed avente la temperatura $T$. Bisogna in primo luogo ritenere come assioma che quali si sieno i mutamenti sofferti da un corpo quando esso ritorna nello stesso stato, nello stesso volume ed alla stessa temperatura contenga un egual numero di calorie; al che pur potrebbe farsi qualche restrizione essendo noto esistere, almeno tra i corpi solidi, dei casi nei quali si muta la temperatura in conseguenza di un non ben definito cangiamento molecolare. La

quantità assoluta di calorie corrispondente alla temperatura 0° dee considerarsi come un'incognita da determinarsi ipoteticamente in guisa da rendere più semplice la teoria; supponiamo che con quel [**m³**] di aria si ponga in comunicazione calorifica una frazione di chilogramma $f$ [**l**] di acqua alla temperatura 100° e dopo ristabilito l'equilibrio e l'aria e l'acqua abbiano la temperatura 1°, ne dedurremo che un [**l**] d'aria del volume [**m³**] richiede la quantità di calorico $0.99 f$ [**c**] per passare dalla temperatura 0° alla 1°. — Se invece la massa [**l**] di aria fosse tenuta sotto una pressione costante, sicchè da 0° a 1° il volume crescesse da [**m³**] a $\left(1 + \frac{\delta}{100}\right)$ [**m³**], e se per tal cangiamento si fosse richiesta la quantità $f'$ [**l**] di acqua a 100°, non si potrebbe già dedurne che l'aria avesse acquistata la quantità di calorico $0,99 f'$ [**c**]; giacchè una parte di calorico si suppone trasformata nel lavoro ch'esercitò l'aria dilatandosi. Forse m'inganno, giacchè è ben difficile sottrarsi interamente ad idee preconcette; mi sembrerebbe impossibile verificare sperimentalmente che nella dilatazione dell'aria si distrugga una quantità di calorico equivalente al lavoro esercitato; per certo bisogna ammettere la diversa capacità dei corpi pel calorico, sicchè il raffreddamento che accompagna la dilatazione potrebbe attribuirsi al solo accrescimento di capacità.

33. Si ritiene per vero che quando il passaggio del calorico da un corpo caldo ad uno freddo si eseguisce profittando di tutto il lavoro che può trarsene, le quantità di calorico dato dal corpo caldo e ricevuto dal freddo, anzichè uguali, sieno proporzionali alle loro rispettive temperature contate dal punto del freddo assoluto, il quale si suppone esser quello, in cui, secondo la legge del Gay-Lussac, l'aria si ridurrebbe ad un volume nullo; sicchè il coefficiente di dilatazione $\delta = \frac{3}{8}$ determinato da Gay-Lussac darebbe pel freddo assoluto — 267°, e $\delta = \frac{4}{11}$ dà — 275°. Risulta da questa supposizione che una parte del calorico somministrata dal corpo caldo rimane distrutta, vale a dire si converte in lavoro. Sicchè se $T$ è la temperatura del corpo caldo contata da — 275°, e $T - t$ quella del corpo freddo, per ogni centinaio di calorie [**c**] somministrate dal corpo caldo, il corpo freddo ne riceve soltanto $\frac{T-t}{T}$ [**c**], ed il calorico rimanente $\frac{t}{T}$ [**c**] si converte nel lavoro espresso (§ 29) da

$$42{,}4 \, \frac{t}{T} \, [\mathbf{gsm}] \, .$$

— Questa legge a me sembra troppo semplice per essere l' espressione della verità, giacchè non mi pare che i fatti dimostrino nelle leggi quella semplicità, cui alcuni vorrebbero imporre alla natura. — Si noti la difficoltà di stabilire in maniera assoluta in che cosa consista l' eguaglianza di due intervalli di temperatura, per esempio di quelli da — 275° a 274° e da 99° a 100°.

34. Dee farsi un' altra osservazione: mediante il lavoro o coll' attrito o in altro modo si può riscaldare un corpo, ma non è altrettanto facile convertire il calorico in lavoro. Prendete quanti corpi volete ad egual temperatura, e provatevi a trarne del lavoro e nello stesso tempo raffreddarli; cosa che sarebbe doppiamente utile nell' estate; ma non credo che si potrà mai conseguirla. Immaginate di avere una sorgente di freddo, per esempio una soluzione frigorifica; e vi sarà possibile convertire in lavoro una parte del calorico dei corpi circostanti. Così ammessa l' equivalenza tra il calorico ed il lavoro, è ben singolare che non si possa convertire il calorico in lavoro se non in quanto si abbia un corpo che contenga meno calorico degli altri. È invece indubitato il principio del Carnot che il lavoro si ottiene diminuendo un dato disequilibrio di temperature. — Viceversa mediante il lavoro si può produrre un disequilibrio di temperatura e perciò anche raffreddare un corpo.

35. Contrariamente alla fatta osservazione potrebbe dirsi che data dell' aria compressa alla comune temperatura se ne ottiene col lasciarla dilatare un lavoro meccanico e nello stesso tempo un raffreddamento: ma in questo caso mi pare che l' aria compressa rappresenti il lavoro impiegato a comprimerla, e che vi sta come immagazzinato; non altrimenti che in una molla caricata od in un peso sollevato, i quali danno un lavoro quando si permette alla molla di spiegarsi ed al peso di discendere. Immaginiamo che cento litri $\left(\frac{1}{10}\,[\mathbf{m}^3]\right)$ d' aria sieno compressi in un solo litro $\left(\frac{1}{1000}\,[\mathbf{m}^3]\right)$; nel riprendere sotto la pressione atmosferica [**10gm**] il volume di 100 litri, esso produrrà un lavoro, che ascenderà a 3,6 [**gsm**], purchè si dia tempo all' aria di mantenersi alla temperatura dell' ambiente traendo il calorico dai corpi circostanti; bisognerebbe adunque che la quantità di calorico assorbita, più quella esistente nei cento litri d' aria compressi in un solo litro, e meno quella contenuta nei cento litri d' aria atmosferica, eguagliasse $\frac{3,6}{42,4}$ [**c**]. Io non so persuadermi che si tratti soltanto di una trasformazione di calorico in lavoro, e che per nulla entri

la forza elastica dell'aria. È possibile che lo spiegarsi di una molla dia origine ad un assorbimento di calorico, ma per certo che questo calorico non rappresenterà tutto il lavoro prodotto; e se ciò non è nella molla, potrà bene non esserlo nell'aria. Bisognerebbe anche ammettere che la quantità di calorico assorbita dalla molla nello spiegarsi fosse molto differente secondo la diversa resistenza che essa vince, poichè il calorico assorbito dovrebbe equivalere al lavoro esternamente esercitato, ed al lavoro nel muovere le parti stesse della molla.

36. *Calorico latente.* Coll'idèa della trasformazione del calorico in lavoro, o viceversa, vorrebbe spiegarsi anche il calorico latente; così il calorico reso latente dalla liquefazione del ghiaccio si dice impiegato a staccare le particelle del ghiaccio ed a vincerne la mutua attrazione; ma quando un lavoro si adopera a rompere un corpo il lavoro rimane distrutto, nè più ricomparisce: si risponderà che le molecole dell'acqua possono in altre circostanze cedere nuovamente alla loro mutua attrazione, e che in tal guisa nell'agghiacciare dell'acqua si riproduce il lavoro sotto forma di calorico; ma qual è questa nuova circostanza, per cui l'acqua torna a solidificarsi? Si rammenti che quel calorico che dapprima la ha fusa si è distrutto convertendosi in lavoro per istaccar le molecole; dunque esso più non esiste ad impedire l'avvicinamento delle molecole. Le molecole avvicinandosi le une alle altre acquisteranno una quantità-di-movimento, ma non si vede in qual lavoro questa si possa trasformare (si noti eziandio che l'acqua agghiacciandosi si dilata). In fine non si potrà mai capire che cosa sia la trasformazione del lavoro in calorico, finchè non si abbia detto in che cosa consista il calorico (§ 18). Si noti esser impossibile non ammettere la differente capacità dei corpi pel calorico, e nulla ci vieta di supporre che la capacità pel calorico di uno spazio vuoto e di un altro spazio occupato da aria compressa sia minore della capacità pel calorico di tutto lo spazio complessivo, nel quale sia dilatata l'aria. Secondo la teoria pirodinamica se l'aria compressa va ad occupare lo spazio vuoto senza essere da nulla impedita, cioè con tutta la velocità che ricevono le sue molecole, non vi è assorbimento di calorico, il quale ha luogo quando una parete cede alla pressione dell'aria, sicchè questa esercita un lavoro, ch'è l'equivalente del calorico assorbito.

37. Peraltro quali si sieno le difficoltà di formarsi una qualche idea del calorico rimarrà sempre un'importantissima teoria quella che riguarda le mutue relazioni tra i fenomeni di moto e quelli di temperatura; teoria che cominciata dal Carnot sembra dover ricevere importanti modificazioni pei lavori di Joule,

Thomson, Clausius, ecc.; io non mi arresto di più intorno a questo argomento, che fu già trattato da uno dei nostri colleghi, e, rivolgendo ancora le mie idee alla materia ed alle forze, parmi che soltanto si possa dire che quella *potenza*, a cui suol darsi il nome di calorico, può trasportarsi da un corpo ad un altro, che non di rado essa diminuisce nei suoi effetti, sia poi ch'essa in parte si celi, oppure si trasformi in un lavoro meccanico. — Ciò è dir poco o affatto nulla sulla natura della causa dei lavori termici: ma il Grove non dice in sostanza nulla di più; le sue sono frasi, a cui non può darsi alcun preciso e chiaro significato; spesso parla del calorico come fosse un corpo *sui generis*, poi chiama il calore una *forza*, senza che si possa capire in qual senso prenda tal parola; poi il calore si converte in lavoro; ma prima di divenir lavoro era forse una semi-forza-viva? Da qual moto era desso costituito o rappresentato? Come questo moto si propaga lentamente da corpo a corpo? Come si mantiene invariato? Come talvolta si slancia nello spazio colla velocità e secondo le leggi della luce?

38. *Vacuità di alcune teorie*. Chi esamini la cosa con un poco d'attenzione, e sfrondi alcune frasi che celano la nullità del pensiero, si persuade che dopo negata la esistenza del calorico noi siamo ridotti a non saper nulla sulla natura della causa; vediamo i fenomeni, li aggruppiamo artificialmente, ma non ci si presenta nemmeno con qualche piccola probabilità alcuna ipotesi sulla causa dei fenomeni stessi. Il Fusinieri nel negare l'esistenza del calorico come un corpo *sui generis* era stato molto più esplicito; aveva detto che i fenomeni calorifici sono prodotti dalla materia in istato di *espansione*; ma poscia questa materia *attenuata* non ispiegava i fenomeni niente meglio del calorico, di cui teneva le veci, e dava una speranza affatto illusoria che da un bricciolo di materia, la quale, secondo le opinioni del Fusinieri, era così facile ad attenuarsi lungo gli spigoli, potesse trarsi a nostro beneplacito un grandissimo calore.

39. Se niente possiamo dire intorno alla causa dei fenomeni calorifici, rimane sempre da studiarne le leggi, al che nulla giova qualche avventata ipotesi, o qualche frase senza senso; sono di fondamento soltanto le sperienze. Siccome per esporre i fatti occorre un linguaggio, il quale più o meno direttamente allude alle cause, così mi pare che sarà da conservarsi l'uso della parola *calorico;* il Grove sembra affettare di sostituirvi l'altra *calore*, ma il senso in cui la adopera si è come se esprimesse una sostanza suscettibile di passare da corpo a corpo. Oltre la parola *calorico* bisogna pure adoperare l'altra di *capacità pel calorico* (detta impropriamente *calorico specifico),* poichè due volumi o due

masse uguali di sostanze differenti sviluppano quantità differenti di calorico nell'abbassare di ugual grado le loro temperature; e pei fluidi espansibili si hanno due differenti capacità secondo che si suppone che il fluido conservi lo stesso volume oppure la stessa tensione: nel che peraltro vi è la difficoltà (§ 32) proveniente dal calorico, che forse rimane distrutto. Finalmente nell'ignoranza in cui siamo sulla natura del calorico può ammettersi che, per esempio, il ghiaccio a 0° contenga minor calorico che l'acqua alla stessa temperatura; queste sono cose che bisogna lasciare indeterminate per poi adattarle nel modo più semplice ai fatti. E siccome non si suppone che il calorico sia una sostanza indistruttibile e ingenerabile, così ammetteremo inoltre che, mediante il lavoro meccanico, possa prodursi del calorico, ossia in altri termini, che il lavoro possa cangiarsi in calorico.

40. *Se il lavoro possa distruggersi.* Qui si affaccia un altro di que' principii generali offerti dalla sperienza, cui niuno vorrà dire che sia una verità innata da riceversi senza esame, e che pure siamo disposti ad accogliere con tanta facilità e compiacenza. La ragione di ciò io la troverei nella brama di sapere unita col desiderio di risparmiarci la fatica. Ci piace un principio generale, un sistema, perchè sotto il simbolo di poche parole ci promette d'insegnare molte cose; così noi attribuiamo alla natura quella semplicità di leggi, che giova alla nostra corta veduta; ci disturbano invece le eccezioni, e vogliamo modellare i fatti secondo i nostri sistemi. — Perciò i fisici pongono innanzi il principio che il lavoro meccanico, o la semi-forza-viva, non possa nè accrescersi nè diminuirsi; per la prima parte accorderemo che i fatti sieno ad essa favorevoli; per lo contrario i fatti di attriti, d'imperfette elasticità e di resistenze di ogni genere smentiscono tutto dì la seconda parte. Forse si risponderà che quanto sembra avvenire in una piccola cerchia non è più vero nell'intero mondo, nel quale il moto si perpetua con vicenda continua di azioni meccaniche calorifere, chimiche, vitali, ecc. Dubito molto della verità di questo asserto; il calore centrale della Terra, che va perdendosi negli spazii celesti, e molto più quel torrente di calorico, che con vicenda diurna ed annua ci viene dal Sole, sono continue cagioni di movimento, che possono ben sopperire al moto, che viene continuamente distrutto dalle resistenze: e noi, la cui storia data da ieri, non possiamo giudicare se l'insieme delle azioni meccaniche, calorifiche, vitali, ecc. vadano decrescendo e molto meno se sieno per durare quanto il mondo. Trasportiamoci col pensiero nelle regioni polari, vi troveremo regnare la quiete e la morte, quantunque i

venti e le meteore vi portino qualche parte del moto, di cui sono ricche le altre zone, e pur vi giungano obbliquamente i raggi solari: gli avanzi fossili ci mostrano che anche in quelle regioni fu altre volte rigogliosa la vita, un immenso movimento vi si è a poco a poco spento nello stesso tempo che ne sfuggiva il calorico. Da ciò possiamo arguire qual sarà lo stato di tutta la Terra quando la sua temperatura si sarà eguagliata a quello dello spazio circostante, e quando il Sole si sarà esso pure esaurito pel calorico continuamente emesso.

41. Ammetteremo dunque che il lavoro o la semi-forza-viva possa cangiarsi in calorico, ma ci guarderemo bene dal ritenere *a priori* che il moto che si estingue produca sempre calorico. Viceversa ammetteremo che il calorico possa convertirsi in movimento, ma non crederemo che la stessa quantità di calorico produca sempre lo stesso lavoro se non in quanto le sperienze esattamente le mostrino, e d'altra parte ricorderemo essere una condizione necessaria per la trasformazione del calorico in lavoro che una maggior quantità di calorico passi da un corpo ad un altro.

42. In quanto al *calorico raggiante* lo potremo considerare come calorico trasformato in *semi-forza-viva*, potremo dire ch'esso si propaga come le vibrazioni trasversali dell'etere costituenti i raggi luminosi; ma credo che nulla potremo stabilire sulla sua essenza. Se, per esempio, dicessimo che il calorico raggiante è la semi-forza-viva delle vibrazioni dell'etere, come potremmo persuaderci che la quantità di calorico [**c**] che riscalda 4 chilogrammi da 0° a 25° equivalga veramente (§ 33) al lavoro 42,4 [**gsm**], ossia alla semi-forza-viva 416 [**smm**:1″1″], ch'è quella di 41,6 chilogrammi che si muovono colla velocità di 100 metri per minuto-secondo? A chiunque voglia proporre ipotesi raccomando di non contentarsi dell'indeterminazione delle parole, e di far sempre le applicazioni numeriche.

43. *Opinioni del Grove.* Prendendo ad imparziale esame le idee del Grove sul calorico, mi pare che o esse si considerano come pensieri anteriori alle sperienze e fondate sui principii della semplicità dei mezzi di cui si serve la natura, del non presentare il calorico tutte le proprietà della materia, e quindi potersi dubitare della sua esistenza, della trasformazione vicendevole tra il calorico e il lavoro: e sotto questo punto di vista mi sembrano idee vaghe ed indeterminate che altri molti possono aver avuto, ed hanno infatti avuto, idee che probabilmente non recheranno alcun vantaggio alla scienza, e che anzi saranno di danno, facendo credere agl' inesperti ch' esse valgono a spiegare, ciò che non

sono nemmeno in istato di descrivere, e sostituendo vane ipotesi all'esatta esposizione di quello ch'è veramente indicato dai fatti. — Che se invece noi consideriamo da prima le sperienze relative alla produzione di calore col mezzo di lavoro meccanico, ed alla trasformazione del calorico in lavoro, noi le troviamo importantissime; dopo di ciò le idee sistematiche in parte sono l'espressione dei risultamenti della sperienza, in parte sono idee mancanti di precisione, e che per nulla rischiarano l'argomento.

44. *Elettricità.* Ho già detto *(Sulle unità, ecc. e sull'importanza ed uso delle teorie)* che l'ipotesi, o se voglia dirsi pseudoipotesi dei due fluidi elettrici, è utile a coordinare i fenomeni, quantunque siamo lungi dal supporre ch'essa sia la vera espressione del fatto. Mediante l'ipotesi dei due elettrici si spiegano e si possono anche sottoporre a calcolo i fenomeni della elettricità statica; le correnti elettriche sono abbastanza bene espresse, particolarmente se si ammette che in ogni particella siavi decomposizione successiva del fluido neutro, ecc. Il Grove dice (pag. 101 dell'ediz. francese) che « non si avrà ripugnanza a considerare i fenomeni elettrici come una polarizzazione molecolare della materia » ordinaria, o come la materia ordinaria agente per attrazione e per repulsione » in una direzione determinata. » Se mai alcuno credesse d'intendere che cosa significhi la *polarizzazione molecolare,* la successiva spiegazione lo convincerà dell'errore in cui si trovava. In altro luogo (pag. 250) l'autore dice che l'elettricità Frankliniana è una condizione statica della forza meccanica agente sulle molecole. — Quando si procede in tal modo con frasi senza significato, qual chiarezza si potrà sperarne? Non si farà che scorrere qua e là in cerca di particolari fenomeni, e notare, opera ben agevole, la difficoltà di accordarli coll'ipotesi dei due fluidi, senza poi saperne sostituire alcun'altra di migliore.

45. Consideriamo uno dei più comuni fenomeni. Due corpi conduttori isolati, l'uno elettrizzato e l'altro no, sono a poca distanza, un corpicciuolo sospeso ad un filo di seta va oscillando tra di loro. — Dov'è la polarizzazione molecolare? Qual è la direzione determinata, in cui la materia ordinaria agisce per attrazione e per repulsione? — Simile cosa potrei ripetere per ogni altro fenomeno, e dovrei copiare quasi tutta l'opera se dovessi scendere ad ogni critica di dettaglio. A pag. 107 si legge che la differenza tra l'elettricità prodotta da una macchina ordinaria e l'elettricità della pila Voltaica si è che la prima è di una intensità molto più grande della seconda, ma agisce sopra una quantità di materia molto più piccola. Si sostituisca alla parola *elettricità* la frase: *pola-*

*rizzazione molecolare*, oppure : *la materia ordinaria agente per attrazione e per repulsione in una direzione determinata;* e si vegga qual senso ne risulti. — A pag. 115 dopo aver parlato della materia impressionata dalla scarica, qoantunqoe secondo lui la scarica sia essa stessa l'impressione della materia. l'autore nota molto ingenuamente la schiavitù in cni le idee sono tenute dalle parole, mentre per esprimere un'opinione differente dalle opinioni ricevute è sforzato servirsi di parole, che implicano le opinioni ricevute. — Chi ha idee chiare e precise non trova difficoltà ad esprimerle, poichè alla peggio può servirsi di parole nuove dandovi opportune definizioni; ma quando non si vuol ammettere che la materia ordinaria, mentre si debbono esprimere classi di fenomeni affatto diversi, è neressario ricorrere alle parole, con cui nella teoria, che si vuol ripudiare, quei fatti sono espressi. È sicuro criterio dell'imperfezione di una teoria il non potersi formare un linguaggio proprio, e doverne arcattare uno dalle teorie cui riprova. — Il Grove dice che il calorico è un'idea arcana simile a quella dell'antico flogisto, sia pnre; ma la rhimica moderna si servì essa del linguaggio del flogisto, o piottosto non cominciò rollo stabilire una nuova nomenclatura? — Se volete esser intesi, e dirò anche se volete pensare, cominciate col formarvi un linguaggio conforme alle vostre idee.

46. L'autore non dice che cosa sia una corrente elettrica o Voltaica, e va rercando gli effetti che produce sui fili conduttori; alcuna volta (pag. 116) quando sono fosi si raccolgono in nodi o grani come fossero compressi longitudinalmente. Questo fenomeno speciale nolla insegoa, ed evidentemente dee dipendere dall'attrazione molecolare che conforma i liquidi in gocrioline. Altri fili senza fondere si racrorciano. Ebbene, questo sarà uno dei tanti, nè rerto uno dei maggiori, fenomeni della corrente elettrica; ne vorremo forse dedurre che la corrente consiste in tale cangiamento di lunghezza del filo? — È ogualmente inutile che io segua l'autore in altre simili considerazioni, dopo le quali conchiude (pag. 119) che il fatto che la conducibilità dipenda dalla struttura o disposizione molecolare non è spiegabile nella teoria dei fluidi elettrici; mentre che se l'elettricità è soltanto una trasmissione di forza o di movimento, la cosa è appunto come doveva essere, e ne viene che il diamante trasmetta la luce ed arresti l'elettricità, mentre il carbone è un corpo opaco e buon conduttore. — Non ho tempo d'indovinare quali sieno le basi di qoesta conseguenza, poichè vorrei invece intendere la vera definizione dell'elettricità, che non è più una polarizzazione molecolare, bensì una trasmissione

di forza o di movimento. Ma se la *forza* sia (§ 8) la causa di movimento, io non intendo nè rhe cosa significhi la trasmissione di nna forza, nè come una corrente Voltaica sia una forza trasmessa. In quanto alla *trasmissione del movimento,* non mi pare che sia la nota comunicazione del movimento, per la quale un corpo, che prima si moveva, si arresta, e si muove invece altro corpo che prima era in quiete. Sorgerebbe il dispiacere che l'antore non abbia creduto opportuno d'impiegare poche parole a spiegare se intendeva parlare della *semi-forza-viva* di un moto vibratorio (chè già le vibrazioni, che fecero sì bella prova nell'ottica, sono chiamate a sostenere tutte quelle teorie, che non preferisrono prendere a campione la forza espansiva) o di una forza propriamente detta, o di una quantità-di-movimento; ma è facile capire che non fu sua colpa se non diede tali spiegazioni. Nè fu colpa della sua volontà se parlando delle attrazioni e repulsioni dei corpi elettrizzati si limitò a dire (pag. 121) che non presentano maggior diffiroltà quando si considerano come prodotte *par un changement dans l'état ou dans les rapports de la matière affectée*, di quella che si trovi a spiegare l'attrazione tra il Sole e la Terra. — La rottura e riduzione in polvere d'un corpo non-ronduttore, e la fusione o la dispersione d'nn filo metallico prodotto dalla scarica elettrica sono pel Grove (pag. 127) conseguenze necessarie d'un rovesciamento improvviso della polarizzazione molecolare, o di un movimento vibratorio repentino od irregolare della materia stessa.

47. Alruno mi potrebbe tacciare di considerare l'opera sulla rorrelazione delle forze fisirhe con una critica dei dettagli anzichè delle idee fondamentali: ma le inesattezze od oscurità mi si presentano quasi ad ogni pagina, ed invano cerco di formarmi un'idea di quell'ipotesi sul calorico, sull'elettrirità, ec. rh'egli intende sostituire alle ipotesi antiche. Le virendevoli azioni tra gli agenti fisiri sono ben conosciute, e ne feci io stesso argomento di un articolo della già citata mia memoria (*Sulle unità*, ec., § 152). In quanto alla correlazione delle forze, vale a dire alle loro equivalenze e trasformazioni le une nelle altre, questa è un'idea, rhe non risulta menomamente dalle definizioni del calorico, dell'elettricità, ec. date in maniere così indeterminate e multiplici; spetta soltanto alle sperienze riconosrere se ed in quali circostanze essa sia esatta, egli è un pregiudizio senza alcun fondamento volerla stabilire *a priori:* e nell'opera del Grove si trovano soltanto accennate alcune sperienze, che potranno provare la correlazione tra le forze senza peraltro che siano mai date relazioni numeriche; è poi indicato un numero molto maggiore di sperimenti, che nulla hanno da fare colla

correlazione delle forze, i quali, egli dice, non potersi spiegare colle antiche ipotesi, e che per sapere se possano spiegarsi colle nuove, bisognerebbe cominciare a dare a queste un preciso significato.

48. *Della luce.* Quantunque si conosca una teoria che sì bene corrisponde coi fenomeni ottici, e qui si potesse veramente parlare di trasmissione di moti vibratorii, pure il Grove sembra farsi una legge di non parlare delle cause e della teoria, e soltanto descrive alcuni fenomeni luminosi (pag. 140) ed alcune azioni chimiche prodotte dalla luce; poscia va spigolando (pag. 149) alcuni fenomeni, nei quali dalla luce sono prodotte immediatamente o mediatamente azioni chimiche, correnti elettriche, magnetismo, calore, movimento; senza peraltro che si possa scorgere alcuna proporzione tra queste differenti azioni. — È inutile presentare fatti negativi quando mancano i fatti positivi a sostegno di un'opinione, pure ne accennerò uno come esempio d'infiniti altri. Per produrre una luce che s'avvicini a quella mandataci dal Sole ci vuole un calore sommamente intenso, invece se la luce del Sole è assorbita per lungo tempo da un corpo opaco questo riceve piccola quantità di calore.

49. L'autore è molto disposto a credere (pag. 161) che le vibrazioni luminose sieno quelle della materia ordinaria, anzichè di un fluido speciale, io non ci veggo alcun vantaggio: bisognerà ammettere tutti gli spazii celesti riempiuti di questa materia ad una densità sufficiente per porre in vibrazione le materie terrestri, e, senza parlare delle obbiezioni che a ciò farebbero gli astronomi, questa materia potrebbe trasmettere anche i suoni, ed i cieli non sarebbero muti. — Che la luce consista nelle ondulazioni della materia ordinaria, l'autore lo deduce anche dalla analogia della luce col calore, il quale consiste nelle ondulazioni della materia ordinaria (pag. 162); così noi veniamo adesso a sapere che cosa sia il calore, che prima ci si presentava come una forza. — Grove ritiene che la materia che (pag. 179, 181) colle sue ondulazioni serve di mezzo di trasmissione alla luce ed al calore, sia la materia ordinaria, dotata di peso, quantunque a causa della sua estrema rarefazione essa non possa manifestare le ordinarie proprietà se non che ad un grado infinitamente piccolo; mentre nell'opinione opposta bisogna ammettere una materia specifica senza peso, la cui esistenza non è stabilita che mediante fenomeni, la cui spiegazione suppone quella stessa esistenza. Per ispiegare i fenomeni s'invoca l'etere, e per provare l'esistenza dell'etere s'invocano i fenomeni. — Vedete a che punto sono le questioni! di sapere se è una materia il cui peso sia infinitamente piccolo, oppure

una materia speciale senza peso! Che non si voglia capire essere stolta pretesa indagare l'intima natura delle cose, e che i fenomeni veramente non si spiegano nè in un modo nè nell'altro; l'ipotesi dell'etere (che pure è quella la cui verità più si avvicina ad essere dimostrata) è in fine un mezzo per coordinare i fenomeni ottici, qual confusione o complicazione nasce dal supporre che l'etere sia un corpo speciale?, chi ha stabilito *a priori* che tutti i corpi sieno pesanti, e chi ha detto che l'etere assolutamente nol sia? Che sia una delle tante materie ordinarie od una materia speciale, non è questa una inutile questione di parole? È poi cosa ben singolare trovare un circolo vizioso nell'ammettere che gli effetti fanno prova della causa, e la causa serve a spiegare gli effetti!!

50. Le opinioni si aggirano anch'esse in orbite rientranti: si è trovato ridicolo l'orrore pel vuoto ammesso dagli antichi, ed ecco che il Grove trova (pag. 175) ridicolo che si abbia riso di un aforismo, il quale prova che quelli, che i primi hanno generalizzato in quell'assioma i fatti da loro conosciuti, avevano spinto l'osservazione ben lungi coi pochi mezzi che possedevano.

51. *Magnetismo.* Dopo le scoperte di Oersted, d'Ampère, di Faraday, ec. alcuni non dubitano di sentenziare che l'elettricismo ed il magnetismo sono una medesima cosa, e che di due supposti fluidi imponderabili (i magnetici) è ormai dimostrata la non esistenza. Pure vi sono essenzialissime differenze tra i fenomeni magnetici e gli elettrici, dall'una parte quiete e costanza, dall'altra moto e fugacità nei fenomeni. Che una causa agisca sull'altra ciò non è indicio che sieno identiche, e di questa identità non ci persuade nemmeno il vedere che coll'elettricismo possa simularsi il magnetismo, e che una calamita possa produrre una corrente elettrica (peraltro istantanea). Che se mi si domandasse se io ammetto che vi sia un fluido magnetico neutro, il quale si decomponga nell'australe e nel boreale, il primo portandosi in ciascuna particella di corpo magnetizzabile verso il polo *nord* ed il secondo verso il *sud*, ec., ec.: Risponderei che lo ammetto come lo si ammetteva prima della scoperta dell'Oersted, vale a dire come un mezzo teorico per coordinare e descrivere i fenomeni magnetici; ignoro poi se tali fluidi esistano, come ignoro affatto qual sia la costituzione dei corpi, e quali sieno le cause dei fenomeni; ma so che tutti i complicati e variatissimi fenomeni magnetici di attrazione o repulsione sono benissimo espressi dalla pseudoipotesi, secondo la quale ogni corpo magnetico ha quei due fluidi, i quali vicendevolmente si attraggono e si respingono. Oersted ha mostrato, il che certamente non era previsto dalla teoria, che una corrente elettrica esercita un'azione sui corpi

magnetizzati; ma una nuova serie di fatti non toglie l'utilità della pseudoipotesi, che raccoglieva gli altri fatti; d'altronde basta aggiungere alla precedente teoria il nuovo principio che ogni elemento di corrente esercita su ciaschedun polo di una calamita una forza perpendicolare al piano che comprende la corrente ed il polo ed i nuovi fenomeni sono pienamente rappresentati. Siccome peraltro se ne potrebbe ricavare un moto perpetuo, così si prevede che la causa non può consistere soltanto nella differente disposizione del fluido magnetico, e che vi dev'essere anche una causa continuamente agente, qual è l'azione chimica, che produce la corrente elettrica.

52. Le azioni vicendevoli delle correnti elettriche fecero nascere l'opinione che le azioni magnetiche dipendessero esse pure da correnti elettriche; idea bizzarrissima per quelli che credettero esistessero veramente tali correnti, ed invece opportuna se la si considerò come un mezzo di rappresentare i fenomeni magnetici ed elettromagnetici. Nulladimeno non credo che la nuova pseudoipotesi sia da sostituirsi a quella dei fluidi magnetici, poichè ne è meno semplice e più imbarazzante, nè sussiste interamente l'analogia tra i solenoidi e le calamite, poichè se alla calamita od al solenoide si presenta un pezzo di ferro questo è calamitato e stabilmente attratto, che se invece del ferro si abbia un filo conduttore conformato a solenoide e rientrante in sè stesso, in esso non s'ingenera una corrente perenne, nè viene attratto dalla calamita.

53. Ebbero torto i fisici, che, trovando una gran conformità tra i fenomeni e le pseudoipotesi, terminarono col persuadersi che queste fossero le vere cause, oppure (forse per non destare negli studiosi un'inutile diffidenza) le esposero senza accennare le obbiezioni, a cui davano luogo, e senza notare qual era il loro vero ufficio; ciò diede facile assunto a coloro, che si proposero di criticare le teorie fisiche, quantunque nulla di meglio vi sapessero sostituire.

54. *Idee del Grove sul magnetismo.* Il Grove comincia col dire che (pagina 182) « le magnetisme fait naître de l'*electricité*, mais avec cette particula» rité, que le magnetisme est une force statique, et que pour lui faire produire » un effet dynamique, il faut lui ajouter le mouvement; elle est de fait directive, » et non motrice, changeant la direction des autres forces, mais à parler stricte» ment ne leur donnant pas l'impulsion initiale. » Copio queste parole senza aggiungervi quelle osservazioni, che si presentano spontanee a coloro, che hanno idee chiare delle forze e dei loro effetti. Per la stessa ragione copio dalla pag. 250: « L'electricité et le magnétisme dynamique sont des mouvements, le magnéti-

» sme permanent et l'électricité franklinique sont des conditions statiques de la » force mécanique agissant sur les molécules. » Da pag. 255 si rileva che, secondo il Grove, il movimento può suddividersi o cangiare di carattere in maniera di divenire calore, elettricità, ec., ma chi intenderà che cosa sia il movimento che si suddivide e cangia di carattere? — L'autore accenna parecchi fenomeni prodotti dal magnetismo, alcuni dei quali sembrano corrispondere coll'argomento dell'opera; senza peraltro che si vegga qual relazione vi sia tra il calorico o il movimento ed il magnetismo, e senza che nemmeno s'intenda qual sia quella forza magnetica che ha correlazione colle altre forze fisiche.

55. *Affinità chimiche.* Le combinazioni chimiche hanno una stretta relazione colla corrente elettrica: se ammettiamo che i liquidi sieno assolutamente incapaci di condurre le correnti Voltaiche in altro modo oltre quello di decomporsi, e che ogni equivalente chimico di un qualunque componente porti seco la stessa quantità di elettrico; supposta una serie rientrante quale si voglia di corpi solidi e liquidi, alcuni dei quali abbiano affinità chimica, si avrà una perfetta equivalenza tra le varie azioni chimiche, e si avrà anche la precisa misura della corrente. Abbiasi per esempio questa serie

Platino — Acqua — Rame — Carbone — Acido solforico allungato — Zinco — Acqua — Platino — Acido cloridrico — Oro — Acqua — e Platino, che comunica col primo;

se l'affinità dell'ossigeno della prima acqua col rame, dell'ossigeno dell'acido solforico allungato collo zinco, e del cloro coll'oro la vinca sulle affinità dell'ossigeno della seconda acqua collo zinco, e sulle affinità che si oppongono alle decomposizioni dei liquidi; si avrà una corrente elettrica in senso retrogrado alla predetta serie di sostanze, e la quantità di fluido elettrico, che scorse in un certo tempo sarà molto opportunamente rappresentata dal peso d'idrogeno, che si sviluppa presso il primo platino, che sarà l'ottava parte del peso di ossigeno che ossida il rame e di quello che ossida lo zinco, ed uguale all'idrogeno che si sviluppa presso il carbone, e presso lo zinco e presso il secondo platino e presso l'oro, e la 36.ma parte del cloro che si unisce coll'oro, l'ultima acqua verrà decomposta tra l'oro e il platino.

56. Bisogna peraltro notare che quest'ultima decomposizione è molto facilitata coll'aggiunta di un po' d'acido, il quale suol dirsi, che ne accresce la conducibilità, il che sarebbe in contraddizione col principio della nessuna conducibilità dei liquidi, poichè non pare che quell'acido essendo inattivo sui due metalli

oro e platino possa facilitare la decomposizione dell' acqua: che se aggiungiamo un acido alla seconda acqua, esso rendendo più forte l' affinità dello zinco per l' ossigeno dovrebbe diminuire la corrente elettrica, e quindi tutte le decomposizioni. Un' altra obbiezione alla non conducibilità dei liquidi mi pare si abbia in questo che immergendo in un acido allungato una lamina di zinco ed una di platino, che non comunichino insieme, quantunque la prima continui ad ossidarsi, pure non presenta sensibile tensione elettro-negativa.

57. *Misura delle correnti.* Se gli sperimenti in molte guise variati confermassero sempre le considerazioni del § 55, ne verrebbe che l' intensità di una corrente Voltaica sarebbe espressa mediante l' unità

$$[\mathbf{v}:1'']$$

indicando con **v** un milligramma d' idrogeno sviluppato in uno dei liquidi in un minuto-secondo, ossia l' ottava parte del peso dell' ossigeno di una delle ossidazioni. Così per ciascun galvanometro gioverebbe determinare previamente quante di queste unità corrispondano a ciascun grado del galvanometro. — Se si potessero tener tutti gli elettrodi ad una precisa distanza eguale e tutti fra loro eguali, si potrebbe trovar nel precedente sperimento anche una misura dell' affinità chimica; per esempio, se unendo in circolo cinque elementi Voltaici platino — acqua — zinco amalgamato con un elemento — zinco — acido allungato — platino il galvanometro elettro-magnetico non desse alcun indicio di corrente, potrebbe dirsi che l' affinità dell' acido per lo zinco è quintupla di quella dell' acqua collo zinco.

58. Quello che il Grove dice sull' affinità chimica ha poca relazione coll' argomento dell' opera, quantunque la correlazione tra le composizioni o decomposizioni chimiche, e le quantità di calorico *sviluppato,* o, se così si voglia, *prodotto,* possano appoggiarsi a molte serie di sperienze, cui credo inutile accennare, poichè mentre sono importantissime come cognizioni positive, nulla ci possono per ora insegnare sulla natura dell' azione chimica o su quella del calorico.

59. L' autore accenna le obbiezioni contro la teoria degli equivalenti chimici applicata alle sostanze di natura organica. Anche in questo argomento per la solita tendenza a generalizzare si suppose che la teoria, che vale pei corpi minerali, debba valere anche per tutti i composti d' origine organica; io credo che se, tenuto il debito conto delle incertezze delle sperienze, si calcolasse la probabilità che i composti contengano un numero intero di equivalenti di cia-

scun componente si troverebbero quasi sempre delle probabilità, che farebbero perdere ogni fiducia alla teoria; sicchè il rappresentare le composizioni dei corpi organici col mezzo del numero degli equivalenti chimici, anzichè coi pesi, è forse soltanto una questione di comodità; giacchè probabilmente quei numeri sono frazionarii non meno di questi.

60. *Opinioni del Séguin.* All' opera del Grove tradotta dall' ab. Moigno, il quale sembra persuaso della realtà della nuova teoria, fanno seguito le note di Séguin ainé. Questi osserva che l' idea fondamentale del Grove era già stata esposta dal Montgolfier, e da lui stesso, senza che i fisici se ne sieno curati. È notabile che ad onta della conformità delle opinioni, e della vicendevole comunicazione per più di un mese dei loro pensieri scientifici, il Séguin debba dichiarare (pag. 279) che il Grove non esaminò se gli elementi della materia ordinaria sieno necessariamente di due sorte, gli uni incatenati o in riposo relativo, gli altri liberi ed animati da grandi velocità che, passando attraverso i sistemi dei primi, li distendono o li allontanano; ed a lui sembrare che senza questa distinzione essenziale i fenomeni rimangono inviluppati di mistero e forse anche inesplicabili; egli nota pure che il Grove lasciò interamente da lato la forza di coesione delle particelle solide, la prima e la fondamentale delle forze della natura. — Così dei due riformatori l' uno trova che l' altro lascia i fenomeni inesplicabili e dimentica la principale delle forze. — Io non mi farò ad esporre l' ipotesi del Séguin, perchè chi conoscesse le importanti sue ricerche intorno alle macchine, e non avesse lette le sue note all'opera del Grove, crederebbe che io volessi calunniarlo. — Il Séguin non tralascia di attribuire all' influenza dei matematici che le idee di Montgolfier, di Grove e sue non abbiano ricevuto l'altrui assenso.

61. Credo inutile arrestarmi di più nella critica delle teorie piuttosto accennate che dettagliatamente esposte nell' opera sulla correlazione delle forze fisiche; vorrei avere abbozzati alcuni dei principii, che deggiono guidare per istabilire quali sieno nell' attuale stato della fisica le meno dubbiose opinioni intorno alla materia ed alle forze, e quali le ipotesi o pseudoipotesi, cui intanto si deggiono adottare; rimanendo per ora indipendenti da tali ipotesi le teorie che alcuni fisici sperimentatori stabiliscono sulla correlazione delle azioni fisiche; ossia sulle trasformazioni tra il calorico ed il lavoro, tra le azioni chimiche e il calorico, tra le correnti elettriche e le azioni chimiche, tra l' elettro-magnetismo e il lavoro, ec., ec.; importantissimi lavori, che non ricevono nè appoggio da azzardate ipotesi, nè detrimento da critiche astratte.

(*Lette il 13 febbrajo* 1859).